

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 59092929
PUBLICATION DATE : 29-05-84

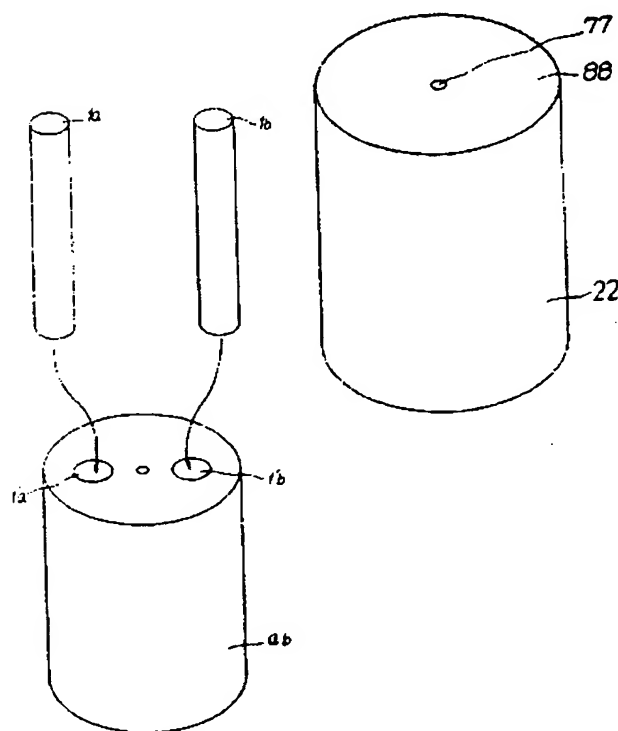
APPLICATION DATE : 17-11-82
APPLICATION NUMBER : 57200350

APPLICANT : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>;

INVENTOR : SHIBATA NORIYOSHI;

INT.CL. : C03B 37/00 // G02B 5/14

TITLE : PREPARATION OF OPTICAL FIBER
MAINTAINING POLARIZATION



ABSTRACT : PURPOSE: To obtain optical fiber maintaining polarization, showing high birefringence index, retaining reduced absorption, by inserting parent materials for providing stress, having a coefficient of linear expansion different from that of quartz into holes of bored jacket having a parent material of quartz, making the diameter small.

CONSTITUTION: The parent materials 1a and 1b for providing stress are processed to grind the outer peripheries, so that they have 11φmm dimension. The parent material 22 for bored jacket is subjected to ultrasonic drilling processing, so that holes having 10.5φmm diameter into which the parent materials for providing stress can be inserted are bored at positions symmetric with respect to the central axis, and the inner faces of them are ground to give the holes 1'a and 1'b having 11.0φmm+0.1mm diameter. The jacket ab thus bored is prepared, the parent materials for providing stress and the bored jacket are washed with a solution consisting of water, hydrofluoric acid and nitrate in a weight ratio of water: hydrofluoric acid : nitric acid =40:2:1, quartz glass for falling having 50φmm diameter and 10mm length is fused to the bottom of the bored jacket ab so that the holes are closed. The parent materials 1a and 1b are inserted into the jacket ab, which is heated and softened in an electric furnace, and the diameter is reduced to give optical fiber having 150μm outer diameter.

COPYRIGHT: (C)1984,JPO&Japio

⑬ 日本国特許庁 (JP)

⑭ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報 (A)

昭59—92929

⑮ Int. Cl.³
C 03 B 37/00
// G 02 B 5/14

識別記号

庁内整理番号
6602—4G
D 7370—2H

⑯ 公開 昭和59年(1984) 5 月29日

発明の数 1
審査請求 未請求

(全 10 頁)

⑭ 偏波保持光ファイバの製造方法

⑰ 特 願 昭57—200350

⑱ 出 願 昭57(1982)11月17日

⑲ 発 明 者 佐々木豊
茨城県那珂郡東海村大字白方字
白根162番地日本電信電話公社
茨城電気通信研究所内

⑲ 発 明 者 野田壽一

⑲ 発 明 者 柴田典義
茨城県那珂郡東海村大字白方字
白根162番地日本電信電話公社
茨城電気通信研究所内

⑲ 出 願 人 日本電信電話公社

⑲ 代 理 人 弁理士 杉村暁秀 外 1 名

明 細 書

1. 発明の名称 偏波保持光ファイバの製造方法

2. 特許請求の範囲

1. 石英ガラスを主成分とするコアと、石英ガラスから成るクラッドと、該コアの両側にコア中心に対して対称の位置に配置された石英ガラスを主成分とする応力付与部とから形成される偏波保持光ファイバの製造方法に係わり、合成コアと合成クラッド層から成るコア用母材もしくは該コア用母材に、石英ガラス管をジャケットした石英母材の中心軸に対して、対称の位置に二つ以上の穴を有する穴開けジャケットにおいて、該穴開けジャケットに設けられた穴の形状と同じ形状の石英と異なる熱膨張係数を有する応力付与部用母材を、該穴に挿入した後、これを高温に加熱し、細径化して所定の外径の光ファイバを得ることを特徴とする偏波保持光ファイバの製造方法。

3. 発明の詳細な説明

本発明は直線偏波保持特性に優れた偏波保持光

ファイバの製造方法に関する。

従来、直線偏波保持性の優れた偏波保持光ファイバの製造方法として、第1図に示すように、コアと合成クラッドとからなるコア用母材1、応力付与部用母材1aと1b、コア用母材1を挿入するための穴1'と応力付与部用母材1aと1bを挿入するための穴1' aと1' bを有する石英ガラス管11を用いることにより、石英ガラス管11内にコア用母材1、応力付与部用母材1a、1bを挿入し、線引きを行うことにより、光ファイバを得る方法が知られている。しかしながら、この方法では、石英ガラス管11の穴1'、1' a、1' bの穴形状および穴中心軸間の平行性を保つために1'と1' aおよび1'と1' bの間に一定の厚さの石英ガラスが必要であり、このため応力付与部用母材1a、1bをコア用母材1に近づけることができない。またコア用母材1の外周および石英ガラス管11の穴1'の内周にはOH基を含む不純物が付着し、このため吸収・散乱による損失を受ける。これらの吸収・散乱等避ける

ため、コア用母材1においてクラッド径/コア径の比を一定のまま、該コア用母材1の外周および石英管11の穴1'の内径を大きくすれば、石英ガラス管11の穴1' a, 1' bの位置はコア部から遠ざけなければならない、したがってコア部から応力付与部が遠ざかることになり、やはり付与できる応力が減少し、複屈折率が指数的に低減してしまう。

このように従来の偏波保持光ファイバは、複屈折率の減少によるクロストークの劣化もしくは低損失性が損なわれるという欠点を有していた。

本発明は合成法により作製したコア用母材に、石英ガラス管をジャケットした母材(以下、穴開けジャケット母材という)、もしくは合成法により作製したコア用母材そのものを穴開けジャケット用母材に用いることを特徴とし、その目的は前記欠点を除去して複屈折率を高め、かつ低損失性を保持する直線偏波保持光ファイバ、いわゆる偏波保持低損失(PANDA)(Polarization-maintaining and Absorption-reducing, OFO 82,

THO 6 参照)光ファイバの製造方法を提供するにある。

第2図は本発明の一実施例を示し、a bは中心軸に対称な穴1' aと1' bを有する穴開けジャケットであり、該穴開けジャケットa bに用いた穴開けジャケット用母材22の構造については第3図に示す。

第3図において77および88はそれぞれ合成法の一つであるVAD法により作製したコア部およびクラッド部(コア部は $\text{GeO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ 、クラッド部は SiO_2)であり、コア部径は $1.9 \phi \text{mm}$ 、クラッド部径は $50 \phi \text{mm}$ で、コア・クラッド比屈折率差 $\Delta = 0.6\%$ である。第2図における1 a, 1 bはMOV法により作製した応力付与部用母材であり、該応力付与部用母材1 aの構造を第4図に示す。

第4図において1 a 1を構成する材料は $\text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{GeO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ であり、1 a 2はサポート管(石英ガラス管)として使用した SiO_2 である。また1 a 1の径は $9 \phi \text{mm}$ 、1 a 2の径は $15 \phi \text{mm}$ である。

応力付与部のドーパント濃度は B_2O_3 に対して $\rho_{\text{B}_2\text{O}_3} = 10.5 \text{ mol}\%$ 、 GeO_2 に対して $\rho_{\text{GeO}_2} = 4.5 \text{ mol}\%$ に選んだ。

第2図に示す本発明の実施例の作製にあたり、手順としては、穴開けジャケットa bの穴1' aと1' bに応力付与部用母材1 aと1 bを挿入し、線引きすることにより光ファイバに細径化した。具体的には、まず応力付与部用母材1 aと1 bに外周研磨加工を施して、 $11 \phi \text{mm}$ の寸法とした。次に穴開けジャケット用母材22(第3図)に超音波ドリル加工を施して応力付与部用母材が挿入できる $10.5 \phi \text{mm}$ 径の穴を中心軸に対して対称な位置に開け、内周を研磨することにより、 $11.0 \phi \text{mm} + 0.1 \text{mm}$ 径の穴1' aと1' bとした。このようにして穴開けジャケットa bを作製した。該応力付与母材と該穴開けジャケットを水：フッ酸：硝酸 $= 40 : 2 : 1$ の割合に混合した液により洗浄した後、穴開けジャケットa bの下端に $50 \phi \text{mm}$ 径、 10mm 長の引き落とし用の石英ガラスを熔着させることにより閉じ、応力付与部用母材1 aと1

bを該穴開けジャケットa b中に挿入し、これを電気炉中で加熱軟化して、遮断波長が $1.15 \mu\text{m}$ となるよう外径 $150 \mu\text{m}$ の光ファイバに細径化した。

この結果、作製した偏波保持低損失光ファイバ(PANDAファイバ)の複屈折率は、従来の偏波保持光ファイバの複屈折率 $B = 1.0 \times 10^{-4}$ に比べて2倍の値である 2.0×10^{-4} まで向上でき、基本波モード HE_{11}^x と HE_{11}^y (x yはファイバ主軸方向)間のクロストークは 0 dB (波長 $1.3 \mu\text{m}$ 、 1km 長)から -20 dB (波長 $1.3 \mu\text{m}$ 、 1km 長)に改善できた。

しかも伝送損失は $1.5 \mu\text{m}$ 帯における最低損失値で比較すると、従来の光ファイバの 0.8 dB/km から第5図に示すように 0.3 dB/km に大幅に低減できた。

また作製PANDA光ファイバの 2km 長における一端と他端における端部の写真(SEM写真)の写生図を第6図(a), (b)に示す。この図から明らかなように応力付与部母材等の変形流動による構造のゆがみは認められなかった。例えば具体的な

測定結果として次の数値が得られた。

$$\text{コア精円率} (= 1 - \frac{\text{コアの短径}}{\text{コアの長径}}) = 0.00$$

$$\text{左右の応力付与部の面積相違率} (= \frac{S_{\text{右}} - S_{\text{左}}}{S_{\text{右}}}) = 0.995$$

(ここで $S_{\text{右}}$ 、 $S_{\text{左}}$ は右と左の応力付与部の面積を表わす) 〓

〓 コアと左右応力付与部までの距離の相違率

$$(\frac{r_{\text{右}} - r_{\text{左}}}{r_{\text{右}}}) = 0.992$$

(ここで $r_{\text{右}}$ 、 $r_{\text{左}}$ はコアと応力付与部との距離を表わす)

以上の数値からも明らかなように、ファイバ構造のゆがみは、無視することができる程度である。

第2図の実施例で使用した穴開けジャケット用母材22(第3図)の代わりに、コア部77およびクラッド部88の一部までをVAD法により作製し、該母材の外側に外付け法により多孔質母材を付着させ透明化した母材を、穴開けジャケットとして用いた光ファイバを作製した結果、前記とほぼ同一のクロストークおよび低損失性を示した。

また第2図の実施例で穴開けジャケットabを作るにあたって超音波ドリル加工後、研磨加工を

ル形状を三角形、四角形、五角形、六角形、また台形、半円形、菱形、ダンベル形にすることにより、それぞれに対応する穴を開け、光ファイバを作製することにより、第2図の実施例と同等の光ファイバ特性を得た。このとき応力付与部用母材については、高温時に対応する形状に変形させて使用した。以後に示すすべての例において、穴形状が真円形状の例を示してあるが、前記に示した各穴形状に対応する穴開けジャケットを用いても、真円形状と同等の光ファイバ特性を示すことを確かめた。

また第3図のコア部77を $\text{GeO}_2 \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{SiO}_2$ 、クラッド部を P_2O_5 、 SiO_2 で構成することにより作製した光ファイバも、第2図の実施例の光ファイバと同等の特性を示した。

このように第2図に示した本発明の実施例による光ファイバの製造方法は、複屈折性の増大によるクロストークの向上とOH基による損失要因の除去による伝送損失の低減を可能にし、加えて光ファイバ構造の制御性の向上と長さ方向の均一性

施したが、研磨加工後、フッ酸溶液によるエッチ加工を施すことにより、寸法合わせをすることも可能であつた。さらに火炎研磨により穴内面の滑らかさを向上させ、泡等の発生確率の低減を図ることができた。

また第2図の実施例で使用した応力付与部のドーパント濃度 $\rho_{\text{B}_2\text{O}_3} = 10.5 \text{ mol } \%$ 、 $\rho_{\text{GeO}_2} = 4.5 \text{ mol } \%$ の代わりに、 $\rho_{\text{B}_2\text{O}_3} = 1.4 \text{ mol } \%$ 、 $\rho_{\text{GeO}_2} = 6 \text{ mol } \%$ を選り光ファイバを作製した結果、複屈折率 $B = 2.5 \times 10^{-4}$ を示し、クロストーク $\text{CT} = -33 \text{ dB}$ (波長 $1.3 \mu\text{m}$ 、1km長) に向上できた。伝送損失については同一の値を示した。また使用したドーパントを B_2O_3 のみとしたときには、 $\rho_{\text{B}_2\text{O}_3} = 1.5 \text{ mol } \%$ で $B = 2.0 \times 10^{-4}$ 、 $\text{CT} = -30 \text{ dB}$ (波長 $1.3 \mu\text{m}$ 、1km長)、 $\rho_{\text{B}_2\text{O}_3} = 2.0 \text{ mol } \%$ で $B = 2.5 \times 10^{-4}$ 、 $\text{CT} = -33 \text{ dB}$ (波長 $1.3 \mu\text{m}$ 、1km長) を示した。伝送損失は共に 0.8 dB/km を示した。

第2図の穴開けジャケットの穴形状として真円形状の例を示したが、超音波ドリル加工でのドリ

向上をも可能にした極めて優れた直線偏波保持光ファイバの製造方法であり、長尺偏波保持光ファイバ製造に寄与するところが大きい。

第7図は本発明の他の実施例図であつて、穴開けジャケット用母材に第8図の穴開けジャケット用母材22を使用し、該母材のコア中心軸に対して対称の位置に1'a、1'b、1'c、1'd (1'aと1'b、1'cと1'dがそれぞれ対称関係) の4本の穴を穿つことにより、穴開けジャケットabcdを作製し、第4図に示したと同一の応力付与部用母材1a、1b、1c、1dをそれぞれ該穴開けジャケットの穴1'a、1'b、1'c、1'dに挿入して線引きすることにより、外径 $150 \mu\text{m}$ の光ファイバに細径化した。作製した光ファイバの複屈折率は $B = 3.4 \times 10^{-4}$ であり、クロストーク $\text{CT} = -35 \text{ dB}$ (波長 $1.3 \mu\text{m}$ 、1km長) を実現できた。損失は第5図と同様な特性を示した。

第8図は本発明の他の実施例図であつて、穴開けジャケット用母材に、第3図の穴開けジャケッ

ット用母材 22 を使用し、該母材のコア中心軸に対して対称の位置に 1' a、1' b、1' c、1' d、1' e、1' f (1' a と 1' b、1' c と 1' d、1' e と 1' f とがそれぞれ対称関係) の 6 本の穴を穿つことにより、穴開けジャケット a b o d e f を作製し、第 4 図に示したと同一の応力付与部母材 1 a、1 b、1 c、1 d、1 e、1 f をそれぞれ該穴開けジャケットの穴 1' a、1' b、1' c、1' d、1' e、1' f に挿入して繰引きすることにより、外径 150 μm の光ファイバに細径化した。作製した光ファイバの複屈折率は $B = 4.0 \times 10^{-4}$ であり、クロストーク $\text{CT} = -36 \text{ dB}$ (波長 1.3 μm 、1 km 長) を実現できた。損失は第 5 図と同様な特性を示した。

第 9 図は本発明の他の実施例図であつて、a' b' は中心軸に対称な穴 1' a と 1' b を有する穴開けジャケットであり、該穴開けジャケット a b を用いた穴開けジャケット用母材 33 の構造については第 10 図に示す。

第 10 図において、77 および 88 はそれぞれ

mol %、 $\rho_{\text{GeO}_2} = 4.5 \text{ mol \%}$ 、中心軸から応力付与部までの距離とコア部径との比 6、遮断波長 1.15 μm であり、複屈折率 $B = 2 \times 10^{-4}$ 、クロストーク $\text{CT} = -20 \text{ dB}$ (波長 1.3 μm 、1 km 長)、伝送損失 0.3 dB/km (波長 1.5 μm) を実現できた。この第 9 図の実施例は第 2 図の実施例に比べて、作製した光ファイバの特性には何んら変わりはなかったが、第 10 図に示したように石英ガラス管を使用しているため、穴開けジャケット用母材の作製時間が短くて済み、また価格的にも安価であつた。

また第 10 図のコア部 77 を $\text{GeO}_2 \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{SiO}_2$ 、クラッド部を $\text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{SiO}_2$ で構成することにより作製した光ファイバも、第 2 図の実施例の光ファイバと同等の特性を示した。

第 11 図は本発明の他の実施例図であつて、穴開けジャケット用母材に第 10 図の穴開けジャケット用母材 88 を使用し、該母材のコア中心軸に対して対称の位置に 1' a、1' b、1' c、1' d (1' a と 1' b、1' c と 1' d とがそれぞれ対称関係) の 4 本の穴を穿つことにより穴開けジ

合成法の一つである VAD 法により作製したコア部 (1.9 ϕ_{mm} 径) およびクラッド部 (2.5 ϕ_{mm} 径) で、コア部は GeO_2 、 SiO_2 、クラッド部は SiO_2 であり、99 は石英ガラス管から成るジャケット部 (5.0 ϕ_{mm} 外径、2.5 ϕ_{mm} 内径) である。穴開けジャケット用母材 33 の作り方は、VAD 法により作つた 77 および 88 からなるコア用母材の外径と、5.0 ϕ_{mm} 外径をもつ石英ガラス管の内径とが 2.5 mm ϕ になるように寸法合わせをし、該母材を石英ガラス管内に挿入して 1700 ~ 1800 °C の電気炉中で加熱軟化させて一体化させた。

第 9 図に示す実施例の作製手順は、穴開けジャケット用母材の作り方を除いては全く同様であり、最終的には穴開けジャケット a' b' の穴 1' a と 1' b に第 4 図に示したと同一の応力付与部用母材 1 a と 1 b を挿入し、繰引きすることにより 150 μm の光ファイバに細径化した。作製した光ファイバのパラメータはコア・クラッド比屈折率差 $\Delta = 0.6 \%$ 、応力付与部穴径 1.1 ϕ_{mm} 、応力付与部のドーパント $\text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{GeO}_2$ の濃度 $\rho_{\text{B}_2\text{O}_3} = 10.5$ 。

ジャケット a b c d を作製し、第 4 図に示したと同一の応力付与部用母材 1 a、1 b、1 c、1 d をそれぞれ該穴開けジャケットの穴 1' a、1' b、1' c、1' d に挿入して繰引きすることにより、外径 150 μm の光ファイバに細径化した。作製した光ファイバの複屈折率は $B = 3.4 \times 10^{-4}$ 、クロストーク $\text{CT} = -35 \text{ dB}$ (波長 1.3 μm 、1 km 長)、伝送損失は 0.3 dB/km (波長 1.5 μm) を実現した。

第 12 図は本発明の他の実施例図であつて、穴開けジャケット用母材に第 10 図の穴開けジャケット用母材 33 を使用し、該母材のコア中心軸に対して対称の位置に 1' a、1' b、1' c、1' d、1' e、1' f (1' a と 1' b、1' c と 1' d、1' e と 1' f とがそれぞれ対称関係) の 6 本の穴を穿つことにより、穴開けジャケット a b o d e f を作製し、第 4 図に示したと同一の応力付与部用母材 1 a、1 b、1 c、1 d、1 e、1 f を、それぞれ該穴開けジャケットの穴 1' a、1' b、1' c、1' d、1' e、1' f に挿入して繰引きすることにより、外径 150 μm の光

ファイバに細径化した。

作製した光ファイバの複屈折率は $B = 4.0 \times 10^{-4}$ 、クロストーク $CT = -86 \text{ dB}$ (波長 $1.8 \mu\text{m}$ 、 1 km 長)、伝送損失は 0.8 dB/km (波長 $1.5 \mu\text{m}$) を示した。

第13図は本発明の他の実施例図であつて、穴開けジャケット用母材に第3図の穴開けジャケット用母材22を使用し、該母材のコア中心軸に対して対称の位置に、 $1'a$ 、 $1'b$ 、 $1'g$ 、 $1'h$ ($1'a$ と $1'b$ 、 $1'g$ と $1'h$ とがそれぞれ対称関係にあり、かつ $1'a-1'b$ 軸と $1'g-1'h$ 軸とが互いに直交する)の4本の穴を穿つことにより、穴開けジャケット $abgh$ を作製し、第4図に示したと同一寸法の応力付与部用母材 $1a$ 、 $1b$ と $1g$ 、 $1h$ ($1a$ と $1b$ は石英ガラスより熱膨張係数が大きな $\text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ 母材、 $1g$ と $1h$ は石英ガラスより熱膨張係数が小さな $\text{TiO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ 母材であり、第4図の $1a1$ として $\text{TiO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ を用いる。)を、それぞれ該穴開けジャケットの穴 $1'a$ 、 $1'b$ 、 $1'g$ 、 $1'h$

と $1b$ は石英ガラスより熱膨張係数が大きな $\text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ 母材、 $1g$ と $1h$ は石英ガラスより熱膨張係数が小さな $\text{TiO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ 母材であり、第4図の $1a1$ として $\text{TiO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ を用いる。)を、それぞれ該穴開けジャケットの穴 $1'a$ 、 $1'b$ 、 $1'g$ 、 $1'h$ に挿入して線引きすることにより、外径 $150 \mu\text{m}$ の光ファイバに細径化した。応力付与部のドーパント濃度は $\rho_{\text{B}_2\text{O}_3} = 15 \text{ mol\%}$ 、 $\rho_{\text{TiO}_2} = 4.6 \text{ mol\%}$ とした。作製した光ファイバの複屈折率は $B = 3.4 \times 10^{-4}$ 、クロストーク $CT = -85 \text{ dB}$ (波長 $1.8 \mu\text{m}$ 、 1 km 長)、伝送損失は 0.8 dB/km (波長 $1.5 \mu\text{m}$) を実現した。第14図の実施例で穴開けジャケットの穴を6本以上に増やし、応力付与部用母材の数を6本以上に増やすことによつても、第14図の実施例と同等の光ファイバ特性を得た。

以上説明したように、本発明の偏波保持光ファイバの製造方法は、従来の偏波保持光ファイバに比べて複屈折率を高めることができ、かつ低損失性をも実現できた。

に挿入して線引きすることにより、外径 $150 \mu\text{m}$ の光ファイバに細径化した。応力付与部のドーパント濃度は $\rho_{\text{B}_2\text{O}_3} = 15 \text{ mol\%}$ 、 $\rho_{\text{TiO}_2} = 4.6 \text{ mol\%}$ とした。作製した光ファイバの複屈折率は $B = 3.4 \times 10^{-4}$ 、クロストーク $CT = -85 \text{ dB}$ (波長 $1.8 \mu\text{m}$ 、 1 km 長)、伝送損失は 0.8 dB/km (波長 $1.5 \mu\text{m}$) を実現した。第13図の実施例で穴開けジャケットの穴を6本以上に増やし、応力付与部母材の数を6本以上に増やすことによつても、第13図の実施例と同等の光ファイバ特性を得た。

第14図は本発明の他の実施例図であつて、穴開けジャケット用母材に第10図の穴開けジャケット用母材33を使用し、該母材のコア中心軸に対して対称の位置に、 $1'a$ 、 $1'b$ 、 $1'g$ 、 $1'h$ ($1'a$ と $1'b$ 、 $1'g$ と $1'h$ とがそれぞれ対称関係にあり、かつ $1'a-1'b$ 軸と $1'g-1'h$ 軸とが互いに直交する)の4本の穴を穿つことにより、穴開けジャケット $a'b'g'h'$ を作製し、第4図に示したと同一寸法の応力付与部用母材 $1a$ 、 $1b$ と $1g$ 、 $1h$ ($1a$

このため光波の周波数情報および位相情報を利用するコヒーレント光伝送用の長尺伝送媒体として用いることができる。そのほか、光ファイバジャイロをはじめとする光ファイバセンサ用の主要センサ材料として有望である。

また半導体レーザ、光スイッチ、変調器、方向性結合器等の偏波依存性をもつ素子を使った系における結合の安定性を高め、かつ簡単な系構成を可能にするという利点がある。

4. 図面の簡単な説明

第1図は従来法による偏波保持光ファイバの製造方法を示す説明図、

第2図は本発明における偏波保持光ファイバの製造方法を示す説明図、

第3図および第10図は使用する穴開けジャケット用母材の説明図、

第4図は応力付与部用母材の説明図、

第5図は作製したPANDA光ファイバの伝送損失の波長特性を示す図、

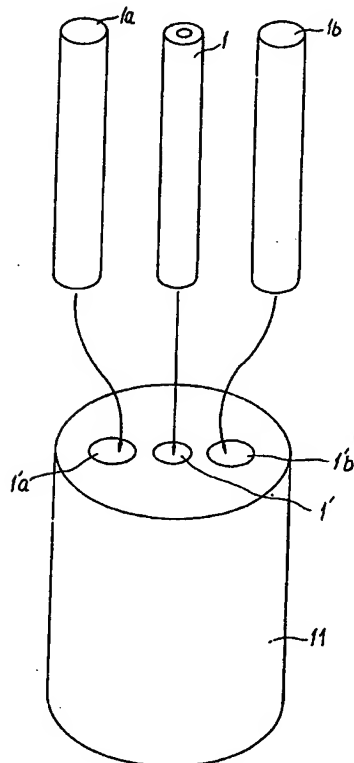
第6図(a)、(b)は作製したPANDA光ファイバ端部

の写真写生図、

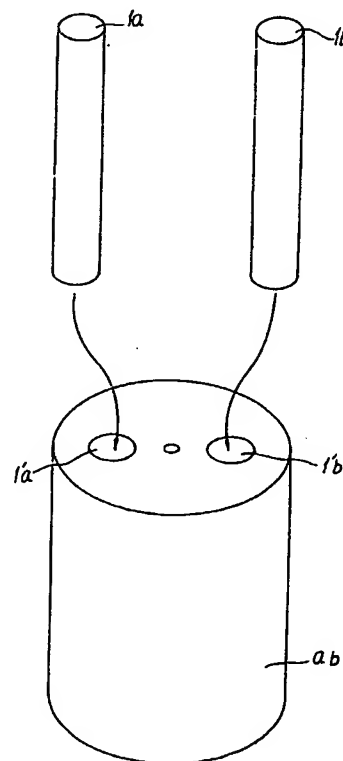
第7図、第8図、第9図、第11図、第12図、第13図および第14図は本発明における他の実施例の説明図である。

1…コア用母材、2…コア部、3…応力付与部、
11…石英ガラス管、22…33…穴開けジャケット用母材、77…合成コア部、88…合成クラッド部、99…石英ガラスジャケット管、*a b*、*a b c d*、*a b c d e f*、*a' b'*、*a' b' c' d'*、*a' b' c' d' e' f'*、*a b g h*、*a' b' g' h'*…穴開けジャケット、*1 a*、*1 b*、*1 c*、*1 d*、*1 e*、*1 f*…石英ガラスより熱膨張係数の大きな応力付与部用母材、*1 g*、*1 h*…石英ガラスより熱膨張係数の小さな応力付与部用母材、*1 a 1*…応力付与部用母材材料、*1 a 2*…サポート管（石英ガラス管）、*1' a*、*1' b*、*1' c*、*1' d*、*1' e*、*1' f*、*1' g*、*1' h*…穴開けジャケットの穴。

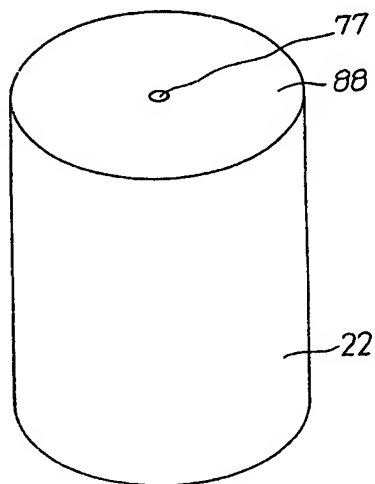
第1図



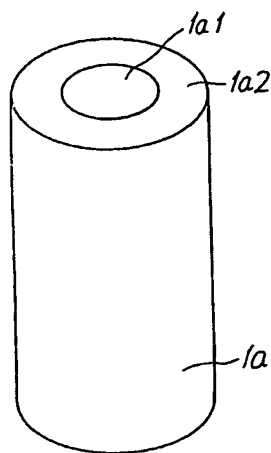
第2図



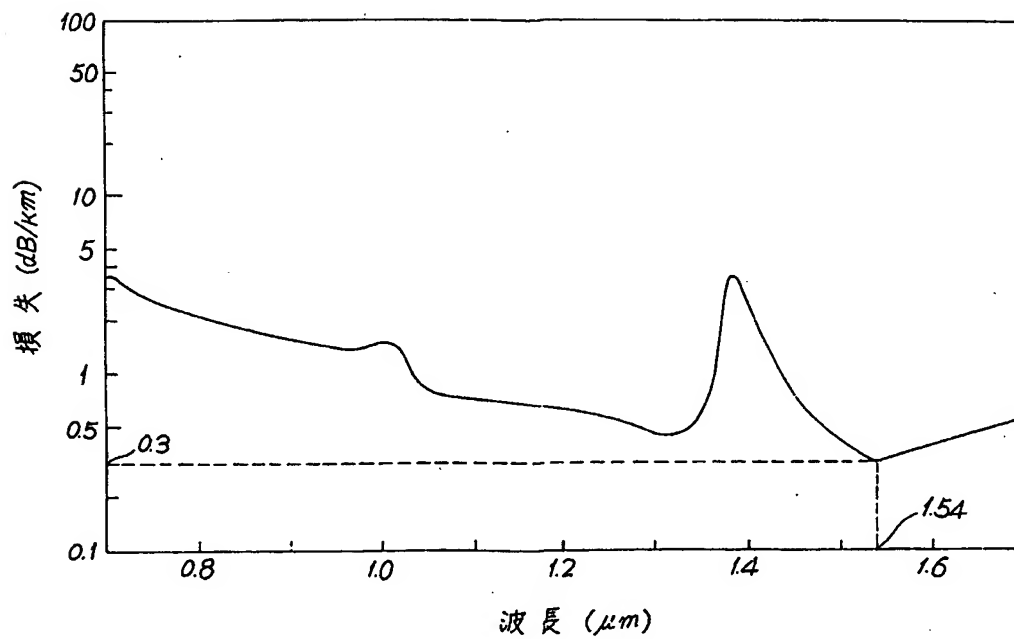
第 3 図



第 4 図

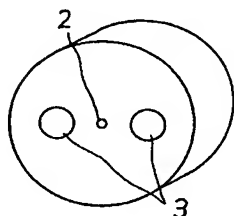


第 5 図

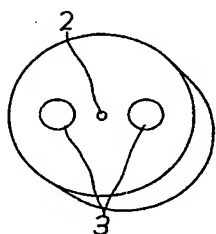


第 6 図

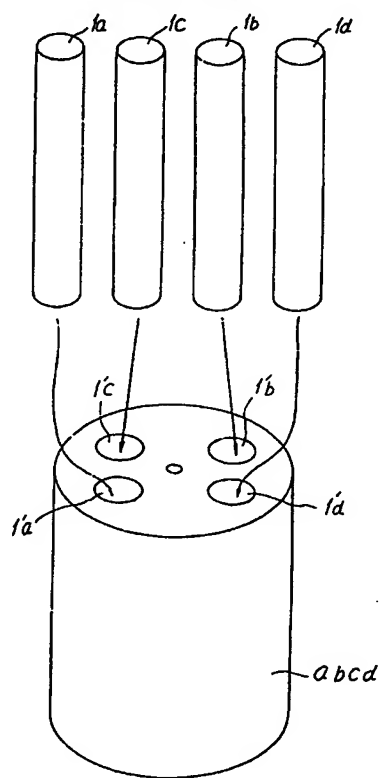
(a)



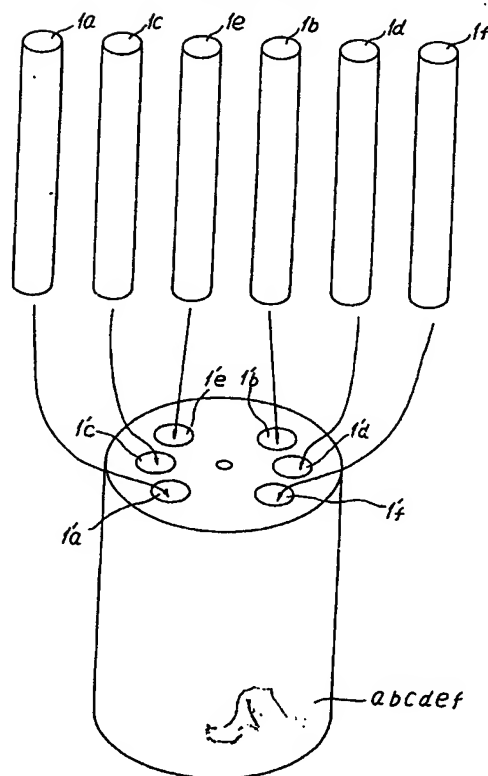
(b)



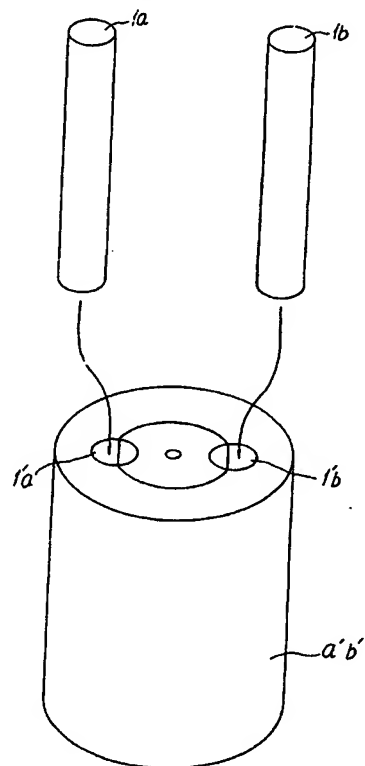
第 7 図



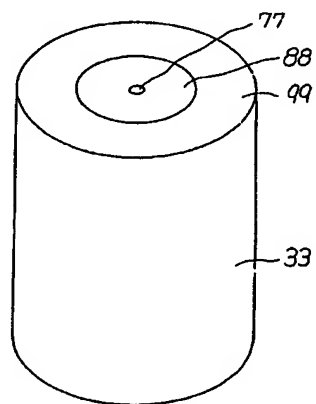
第 8 図



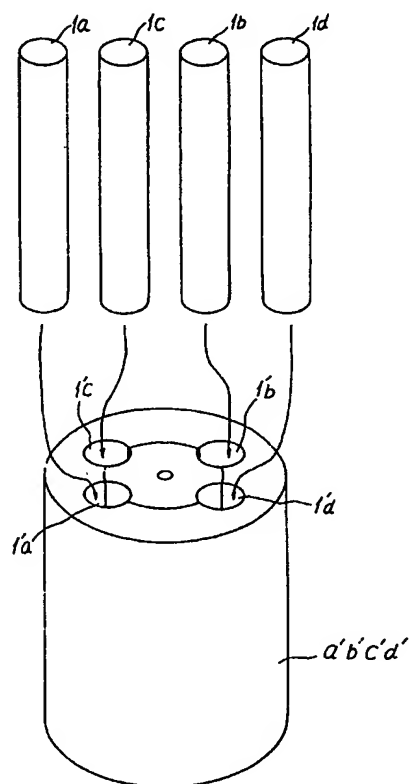
第 9 図



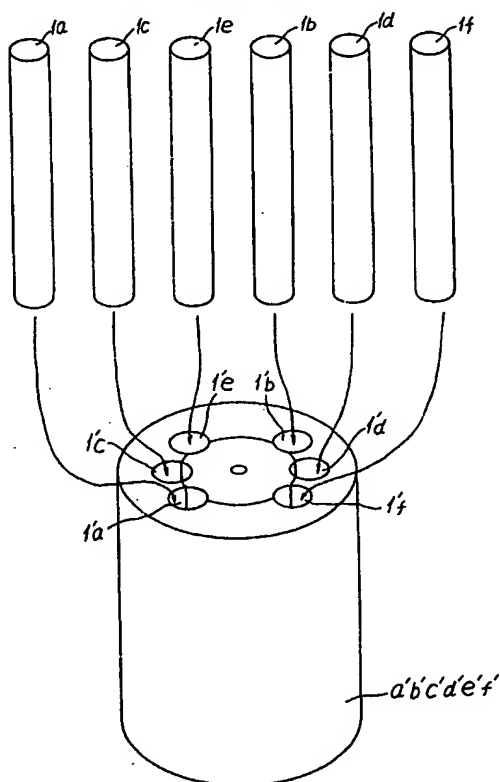
第10圖



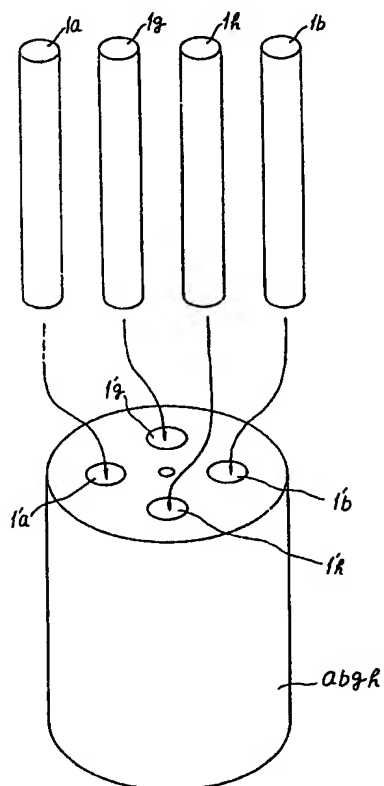
第11圖



第12圖



第13圖



第14圖

